

文章编号: 1000-5692(2004)04-0366-05

# 桫欏木苗期光合特性研究

应叶青, 吴家胜, 戴文圣, 黎章矩

(浙江林学院 生命科学学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 运用美国 Li-COR 公司制造的 Li-6400 便携式光合作用测定系统, 研究桫欏木 *Eurya muricata* 苗期的光合特性。结果表明, 桫欏木叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化曲线呈双峰型, 有“光合午休”现象, 第 1 个峰值出现在 9:00 左右, 净光合速率 ( $\text{CO}_2$ ) 达到  $7.35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 第 2 个峰值出现在 16:00, 净光合速率为  $2.64 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。桫欏木叶片  $\text{CO}_2$  补偿点为  $53.8 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 饱和点为  $1621.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。桫欏木叶片光补偿点为  $42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 饱和点为  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。图 5 参 11

**关键词:** 树木生理学; 桫欏木; 光合特性; 气孔导度; 光合有效辐射

**中图分类号:** S718.43      **文献标识码:** A

桫欏木 *Eurya muricata* 是山茶科 Theaceae 桫欏属 *Eurya* 植物, 常绿灌木或小乔木<sup>[1]</sup>, 是日本传统的供神祭祖的吉祥物, 市场容量大且稳定。为此, 我国的野生桫欏木资源被大量开发, 随之产生的负面效应是桫欏木产品数量和质量急剧下降。所以, 从实施可持续发展战略, 提高桫欏木加工原料供应保障率和保证产品质量的角度出发, 进行人工栽培是一条必然之路。

植物生长发育的物质和能量都最终来源于光合作用。光合作用的强弱与生产力有密切的关系。笔者通过对桫欏木光合特性的研究, 探讨光合作用的变化规律及其影响因子, 分析桫欏木光合作用适宜的生态条件, 为制定桫欏木优质高产栽培技术措施提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料选择

试验于 2003 年 5 月下旬, 在浙江省临安市太阳镇锦村杭州天禾园艺有限公司的桫欏木生产基地内进行。以 1 年生移栽苗为测定对象。经测定苗木平均高为 48 cm, 平均地径为 0.5 cm, 株行距为 30 cm  $\times$  30 cm。

### 1.2 测定方法

1.2.1 桫欏木光合作用日进程测定 选择晴朗的天气, 选取生长正常苗木上部功能完全的叶片作为测定对象。利用美国 Li-COR 公司制造的 Li-6400 便携光合作用测定系统, 在自然条件下测定桫欏木光合速率、蒸腾速率等主要生理指标。测定时间区段为 6:00~18:00, 每间隔 1 h 测定 1 次, 每个指标测定 3 个重复, 每重复记录 3 个数值。

收稿日期: 2004-05-25; 修回日期: 2004-06-22

基金项目: 浙江省科学技术厅基金项目(013138); 浙江省林业厅招标项目(01A02)

作者简介: 应叶青(1973-), 女, 浙江永康人, 硕士, 讲师, 从事森林培育研究。E-mail: yeqing@zjfc.edu.cn

1.2.2 光-光合响应测定 选择晴天早上，以小钢瓶内液态二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 为气源，控制叶室中 CO<sub>2</sub> 浓度为 375 μmol·mol<sup>-1</sup>，利用 Li-6400 内部温度调节器控制叶室温度为 25 °C。在控制条件下，测定柃木叶片的净光合速率对光合有效辐射强度的响应。叶室中的光合有效辐射强度通过 Li-6400 人工光源设定，分别为 0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。

1.2.3 CO<sub>2</sub> 响应曲线测定 利用 Li-6400 人工光源设定叶室中光合有效辐射强度为 800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>，利用仪器内部温度调节器控制叶室温度为 25 °C。在控制条件下，测定叶片光合速率对 CO<sub>2</sub> 的响应。由 CO<sub>2</sub> 小钢瓶提供 CO<sub>2</sub> 气体，从 0~2 200 μmol·mol<sup>-1</sup> 不断增加 CO<sub>2</sub> 的浓度，测定叶片的净光合速率的响应。

1.2.4 环境因子测定 在测定柃木各光合生理指标的同时，由 Li-6400 便携光合测定系统测定环境因子，包括气温、叶温、相对湿度和光合有效辐射等。

## 2 结果与分析

### 2.1 柃木苗期光合速率日变化

在晴天，柃木叶片净光合速率的日变化曲线呈双峰型 (图 1)，在早晨尽管胞间 CO<sub>2</sub> 浓度比较高 (图 2)，6: 00 时比 9: 00 高出 114 μmol·mol<sup>-1</sup>，但是由于光合有效辐射和气温较低 (图 1，图 3)，6:

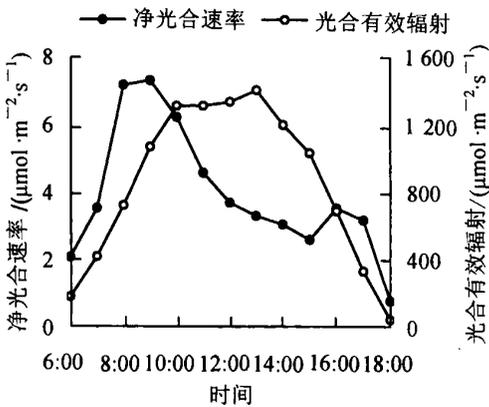


图 1 柃木叶片净光合速率的日变化

Figure 1 Diurnal variation of photosynthetic rate

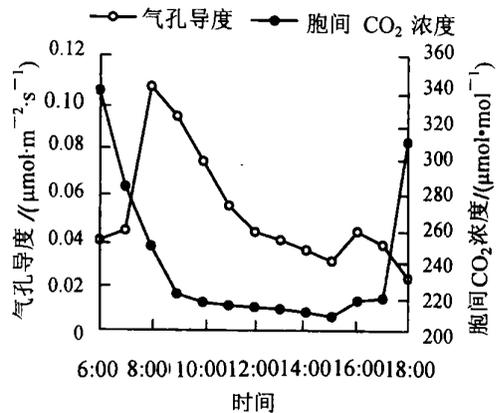


图 2 柃木叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度的日变化

Figure 2 Diurnal variation of stomatal conductance and intercellular CO<sub>2</sub> concentration

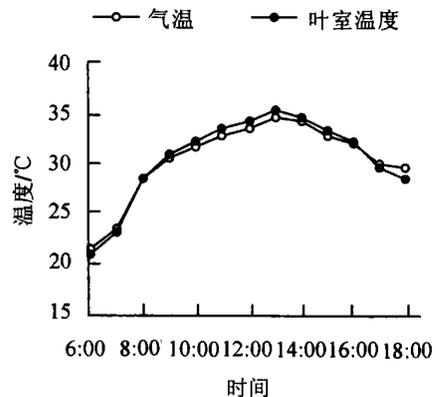
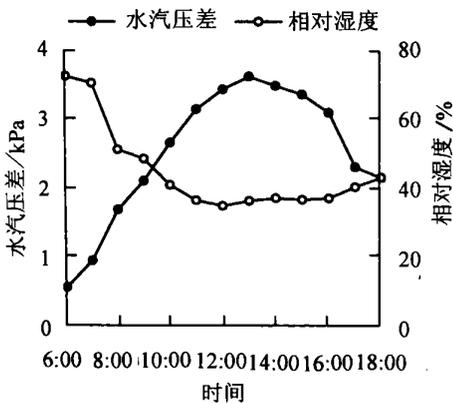


图 3 微气象因子的日变化

Figure 3 Diurnal variation of micrometeorological factors

00 光照强度只有  $191 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 净光合速率很低; 随着气温和光照强度的上升, 净光合速率迅速增高, 在 9: 00 出现最高峰 ( $7.35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 随后下降, 在 15: 00 下降到  $2.64 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 以后逐渐回升, 到 16: 00 出现第 2 个高峰, 此峰值比第 1 个峰值要低  $3.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 随后迅速下降。

由图 2 可以看出, 柃木叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度早晨最高, 10: 00 以前呈明显下降趋势, 10: 00 ~ 15: 00 缓慢下降, 差值不大, 15: 00 以后呈上升趋势。气孔导度日变化呈双峰型, 与净光合速率的变化趋势一致 (图 1, 图 2), 第 1 个峰值出现在 8: 00, 最大为  $0.105 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 第 2 个峰值在 16: 00, 为  $0.044 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 下午 15: 00 最小。对比图 3 可以看出, 高温时气孔导度减小, 这是由于中午前后气温较高, 空气湿度低造成的。气孔作为气体交换的调节机构, 其导度的变化可以影响光合作用, 调节蒸腾作用。

从柃木叶片周围微气象因子日变化曲线 (图 3) 可以看出, 空气相对湿度低, 叶片与空气之间的水气压差值大时, 气孔导度减小, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度降低, 净光合速率下降; 中午前后, 光合有效辐射很大, 水气压差达到最大值, 相对湿度、气孔导度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度达到最小值, 从而出现光合午休现象。

光合午休与中午光照强、气温高、空气相对湿度低及胞间  $\text{CO}_2$  亏缺等因素有关。目前许多学者认为<sup>[2-3]</sup>, 低的空气相对湿度是导致光合午休的重要生态因子。图 3 也证明了这一点, 中午相对湿度迅速下降到日较低点, 叶片与空气之间水气压差的迅速增大到日较大值 (图 3), 导致气孔部分关闭, 气孔导度下降。另外, 湿度除了能影响气孔导度外, 还可以直接影响叶肉细胞的光合活性, 随着水气压差的增加, 羧化效率和最大光合能力都下降。

## 2.2 柃木苗期光合作用的 $\text{CO}_2$ 响应

陆生植物光合作用所需要的碳源主要是空气中的  $\text{CO}_2$ 。 $\text{CO}_2$  主要是通过叶片气孔进入叶子。空气中的  $\text{CO}_2$  一般占体积的 0.033%, 对植物的光合作用来说是比较低的, 特别在中午前后,  $\text{CO}_2$  就成为增产的限制因子之一。我们在控制光照强度和温度的条件下, 测定不同  $\text{CO}_2$  浓度下柃木叶片光合速率的变化 (图 4), 结果表明,  $\text{CO}_2$  浓度在  $0 \sim 1600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  范围内, 随着  $\text{CO}_2$  浓度的增加净光合速率也不断升高, 在  $\text{CO}_2$  浓度为  $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时, 净光合速率取得最大值为  $16.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度超过  $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  以后, 随着  $\text{CO}_2$  浓度的继续增加, 净光合速率反而下降。根据本次试验结果, 应用计算机模拟, 求得柃木的  $P_n\text{-CO}_2$  响应曲线为  $y = -1.069 + 0.0227x - 0.000007x^2$  ( $r = 0.9981$ ), 由此求得柃木  $\text{CO}_2$  补偿点为  $53.8 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  饱和点为  $1621.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

## 2.3 柃木苗期光合作用的光响应

设定温度为  $25^\circ\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度为  $375 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 通过测定不同的光合有效辐射下柃木叶片的光合速率, 结果表明, 当光合有效辐射在  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以下时, 净光合速率随光合有效辐射增加而提高, 其中, 光合有效辐射在  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以下时, 随光合有效辐射的增加, 净光合速率增加较快, 以后随着光合有效辐射的进一步增加, 净光合速率提高速度逐渐减慢, 当光合有效辐射超过  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以后, 随光合有效辐射的继续增加, 净光合速率反而逐渐下降 (图 5)。根据图 5 计算分析求得柃木的光补偿点大约在光合有效辐射  $42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右, 说明柃木苗期具有耐荫特性, 光饱和点在  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右, 表观量子效率值为 0.054, 与一般植物的表观量子效率值 (0.03 ~ 0.05) 基本相符<sup>[4]</sup>。

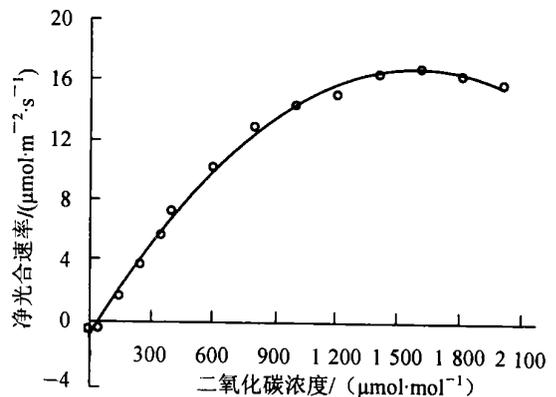


图 4 不同  $\text{CO}_2$  浓度下柃木叶片光合速率的变化

Figure 4 Variation of photosynthesis rate under different  $\text{CO}_2$  concentration

### 3 结论与讨论

在晴朗天气, 桉木净光合速率日变化为双峰曲线, 一天中有 2 个明显的峰值, 表现出明显的“午休”现象。叶片气孔导度的日变化曲线与光合速率的日变化趋势有很强的正相关关系, 呈平行变化趋势。气孔导度受到叶片水分亏缺的调节, 与水分亏缺呈反向变化, 而水分亏缺则受光合有效辐射和气温的影响, 表现出与之有不同向变化的趋势。研究表明, 在 12: 00~15: 00, 桉木苗木光合速率处于一天中的谷值, 同时气孔导度也明显下降, 并伴有胞间  $\text{CO}_2$  浓度的下降。根据 Farquhar 和 Sharkey 等学者观点, 可以认为造成桉木光合午休的主要原因是

气孔因素。中午前后 (12: 00~15: 00) 强光和高温及由此引起的叶片与空气之间水气压差增大等原因会导致部分气孔关闭, 引起胞间  $\text{CO}_2$  浓度降低, 从而造成净光合速率下降。另外, 温度升高和水气压差的增加, 也抑制了参与光合过程的酶的活性, 使羧化效率和最大光合能力都下降。

根据本试验测定结果, 桉木苗期光补偿点为  $42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 光饱和点约为  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表明桉木苗期具有耐荫特性。因此, 桉木人工栽培苗期一定要注意遮荫, 特别是中午前后, 约要遮去 30% 左右的光照, 以有利于净光合速率的提高。

试验表明桉木苗期  $\text{CO}_2$  补偿点为  $53.8 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 饱和点约为  $1621.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。说明桉木具有极高的增产潜力, 生产上可通过设施栽培增施  $\text{CO}_2$  肥来提高桉木的生长量。有关提高  $\text{CO}_2$  浓度促进光合作用的效应已有许多报道<sup>[7-10]</sup>。有研究指出, 在一定范围内提高环境中  $\text{CO}_2$  浓度, 增大  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  的比值, 可以增加 RuBPCase 的羧化活性, 降低其加氧活性, 抑制光呼吸, 提高光合速率<sup>[11]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 树木学编写委员会. 树木学 (南方本) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [2] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1982, 33: 317-345.
- [3] 许大全. 光合作用气孔分析中的一些问题 [J]. *植物生理学报*, 1997, 33 (4): 241-244.
- [4] 关义新, 戴俊英, 林艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制 [J]. *植物生理学通讯*, 1995, 31 (4): 293-297.
- [5] Cowan I R, Farquhar G D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment [J]. *Symp Soc Exp Biol*, 1997, 31: 471-505.
- [6] 邱国雄. 植物光合作用的效率 [A]. 余淑文. *植物生理学和分子生物学* [C]. 北京: 科学出版社, 1992, 236-243.
- [7] 施定基. 增施  $\text{CO}_2$  生理效应的初步研究 [J]. *植物生理学通讯*, 1983, 9 (3): 30-33.
- [8] 苏培玺, 杜明武, 张立新, 等. 日光温室草莓光合特性及对  $\text{CO}_2$  浓度升高的影响 [J]. *园艺学报*, 2002, 29 (6): 423-426.
- [9] 张其德. 大气  $\text{CO}_2$  浓度升高对光合作用的影响 [J]. *植物通报*, 1992, 9 (4): 18-23.
- [10] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸苗期光合特性的研究 [J]. *生态学报*, 1999, 19 (2): 164-169.
- [11] Peet M M, Huber S C, Patterson D T. Acclimation to high  $\text{CO}_2$  in monoecious cucumber II. Carbon exchange rate, enzyme activity and starch and nutrient concentrations [J]. *Plant Physiol*, 1986, 80 (1): 63-67.

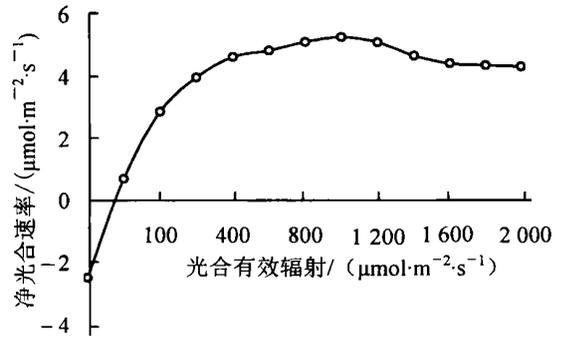


图 5 不同光合有效辐射下桉木叶片的光合速率

Figure 5 Photosynthesis rate in different PARs

## Photosynthetic characteristics of *Eurya muricata* at seedling stage

YING Ye-qing, WU Jia-sheng, DAI Wen-sheng, LI Zhang-ju

(School of Life Sciences, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The Li-6400 Portable Photosynthesis System made by American Li-COR Company was used to study the

*photosynthetic characteristics of Eurya muricata at seedling stage. The results showed that the daily variation of net photosynthetic rate in leaves presented a bimodal curve and an obvious 'midday depression' phenomenon. The first peak value was the highest, which occurred at about 9: 00 a. m., the net photosynthetic rate was  $7.35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; the second peak value occurred at 16: 00 p. m., the net photosynthetic rate was  $2.64 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The main reason for the midday depression was stomatal factors. At midday, the largest light intensity, the maximum vapor pressure deficit between leaves and air and the minimum air relative humidity, stomatal conductance and intercellular  $\text{CO}_2$  caused photosynthetic midday depression. The  $\text{CO}_2$  compensation point was  $53.8 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  and  $\text{CO}_2$  saturation point was  $1621.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ . The light compensation point was  $42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and light saturation point was about  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . [Ch, 5 fig. 11 ref.]*

*Key words: tree physiology; Eurya muricata; photosynthetic characteristics; stomatal conductance; photosynthesis active radiation*

## 常务副院长周国模教授率专家组参加 南太湖高新技术成果交易会

2004年9月25~26日,由浙江省科技厅、湖州市人民政府共同举办的“2004年中国湖州南太湖高新技术成果交易会”在湖州举行。浙江林学院常务副院长周国模教授率木材加工、竹材加工、森林保护、森林培育等方面的专家参加了此次交易会。

会上,浙江林学院接受企事业单位和个人咨询100余人次,并发放了大量资料,初步达成合作意向8项,其中工程学院与浙江久盛地板有限公司的“木材化工研发中心”,森林保护学科与湖州市林业局的“湖州市有害生物状况调查与物种鉴定”等合作项目在大会上签约。

(科技处)